MODEL PERTUMBUHAN DAN HASIL HUTAN TANAMAN *Gmelina arborea* MENGGUNAKAN PETAK UKUR TEMPORER DI SUMATERA UTARA
(*Growth and Yield Model for Gmelina arborea Plantation Using Temporary Sampling Plots in North Sumatra*)

Oleh / By :

Aswandi dan / and Cica Ali

ABSTRACT

The objective of the study was to develop sustainable growth and yield model for *Gmelina arborea* at Pasir Mandoge Simalungun North Sumatra. Data from 12 temporary sampling plots were used to formulate the model which include stand diameter and height function, number of trees per hectare prediction model, basal area and stand volume equation. That plots taken at stands 5 – 8 years old. Site quality was calculated by following the site index equation $SI = H \cdot \{(1 - e^{-0.237 \cdot 8}) / (1 - e^{-0.237 \cdot A})\}$ that developed based on dominant height with stand age relationship. Volume yielded at 8 year old rotation is $178.74 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ with MAI $22.34 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Yield prediction model were developed by regression analysis. Mean of diameter, height, basal area and stand volume expressed as :

- Stand dbh model : $\ln D = 5.84 - 6.27 A^{-1} - 0.511 \ln S - 0.00066 N$
- Stand mean height model : $\ln H = -4.09 + 4.07 \ln A - 1.46 \ln B + 1.15 \ln N - 1.30 \ln S$
- Number trees prediction model : $\ln N = 8.80 + 0.227 \ln B - 0.817 \ln D - 0.227 \ln S$
- Stand basal area model : $\ln B = 5.26 - 0.0281 S - 8.05 A^{-1} - 0.151 S/A$
- Volume yield model : $\ln V = 2.02 + 0.0407 S + 0.65 A^{-1} + 0.682 \ln B$

where D : dbh (cm), H : mean height (h), V : stand volume ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$), A : age (yr), B : basal area (m^2), and S : site index. Derived curves plotted against age provide sigmoid-shaped yield curves. This result supports the biological principle of stand development.

Key words : Growth and yield, model, *Gmelina arborea*, North Sumatra

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membangun model pertumbuhan dan hasil jenis *Gmelina arborea* di Pasir Mandoge Simalungun Sumatera Utara. Data pengukuran 12 plot ukur temporer digunakan untuk merumuskan model penduga diameter, tinggi, jumlah pohon per hektar, luas bidang dasar, dan volume tegakan. Semua plot tersebut berada pada tegakan yang berumur 5-8 tahun. Kualitas tempat tumbuh dihitung menggunakan persamaan indeks tempat tumbuh $SI = H \cdot \{(1 - e^{-0.237 \cdot 8}) / (1 - e^{-0.237 \cdot A})\}$ yang dibangun berdasarkan hubungan antara peninggi dengan umur tegakan. Hasil volume pada umur rotasi 8 tahun adalah $178,74 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ dengan MAI sebesar $22,34 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$. Model prediksi pertumbuhan dan hasil dibangun berdasarkan analisis dan diperoleh :

- Model dbh tegakan : $\ln D = 5.84 - 6.27 A^{-1} - 0.511 \ln S - 0.00066 N$
- Model tinggi tegakan : $\ln H = -4.09 + 4.07 \ln A - 1.46 \ln B + 1.15 \ln N - 1.30 \ln S$
- Model penduga jumlah pohon : $\ln N = 8.80 + 0.227 \ln B - 0.817 \ln D - 0.227 \ln S$
- Model luas bidang dasar : $\ln B = 5.26 - 0.0281 S - 8.05 A^{-1} - 0.151 S/A$
- Model volume : $\ln V = 2.02 + 0.0407 S + 0.65 A^{-1} + 0.682 \ln B$

Model-model tersebut menghasilkan kurva pertumbuhan berbentuk sigmoid. Hasil ini mendukung prinsip-prinsip biologi perkembangan tegakan.

Kata kunci: Model, pertumbuhan dan hasil, *Gmelina arborea*, Sumatera Utara

I. PENDAHULUAN

Kegiatan pengelolaan hutan lestari memerlukan rencana jangka panjang dengan bantuan perangkat perencanaan pengelolaan yang tepat. Salah satunya adalah perangkat pendugaan pertumbuhan dan hasil tegakan untuk mengetahui proyeksi hasil dan pemilihan tindakan silvikultur yang tepat yang bermuara pada efektivitas kegiatan pengelolaan hutan yang dilakukan.

Pendugaan pertumbuhan dan hasil tegakan umumnya dilakukan dengan menggunakan pendekatan model matematik. Model pertumbuhan dan hasil dibangun berdasarkan hubungan matematika parameter tegakan seperti kerapatan, umur tegakan, dan produktifitas tapak yang menyediakan deskripsi kuantitatif perkembangan tegakan hutan pada suatu rentang waktu, kondisi, dan tindakan pengelolaan (Alder, 1980). Model pertumbuhan dan hasil dapat digolongkan atas tiga kelompok yakni model tegakan keseluruhan (*whole-stand model*), model kelas tegakan (*class-stand model*), dan model pohon tunggal (*single-tree model*) (Vanclay, 1994). Model pohon tunggal disusun berdasarkan pertumbuhan individu pohon. Sebaliknya, model tegakan keseluruhan disusun atas pertumbuhan pohon dalam tegakan. Sedangkan model kelas tegakan bersifat kompromi antara model pohon tunggal dan model pohon keseluruhan. Model ini disusun dengan mengelompokkan tegakan ke dalam beberapa kelas.

Kualitas tempat tumbuh penting untuk diketahui guna penentuan tindakan-tindakan silvikultur yang perlu dilakukan serta identifikasi produktifitas tegakan, baik pada saat sekarang maupun yang akan datang. Kualitas tempat tumbuh suatu tegakan hutan, biasanya dinyatakan dengan *bonita* atau indeks tempat tumbuh yang dapat digunakan sebagai dasar pendeliniasian kawasan hutan ke dalam unit-unit pengelolaan yang homogen sehingga penerapan tindakan silvikultur tertentu dapat diterapkan dengan baik dan efektif (Prodan, 1968). *Bonita* bersifat spesifik untuk tiap jenis karena setiap jenis menuntut persyaratan tempat tumbuh dan memiliki perilaku pertumbuhan yang berbeda.

Oleh karena itu setiap jenis tanaman memerlukan perangkat pembonitaan tersendiri yang berbeda dengan jenis lainnya. Secara tidak langsung kualitas tempat tumbuh tersebut dapat diduga melalui perhitungan indeks peninggi. Peninggi adalah rata-rata tinggi 100 pohon tertinggi per hektar yang tersebar secara merata. Peninggi dapat digunakan untuk menentukan kelas kualitas tapak suatu tegakan hutan, karena sampai batas tertentu tinggi pohon tidak terpengaruh oleh faktor lingkungan (Prodan, 1968; Simon, 1996).

Untuk menyusun model penduga pertumbuhan hutan maka diperlukan informasi dinamika dan pertumbuhan tegakan. Informasi tersebut dapat diperoleh dari pengukuran tegakan pada petak ukur permanen di mana pengukuran dilakukan setiap tahun sampai rentang waktu tertentu (Avery dan Burkhart, 1994). Informasi pertumbuhan juga dapat diperoleh dari pengukuran tegakan pada petak ukur temporer yang dibangun pada berbagai kelas umur tegakan. Walaupun terdapat kemungkinan terjadinya bias pendugaan pertumbuhan dengan menggunakan metode petak ukur permanen, tetapi teknik pengumpulan data ini relatif efisien dan model pendugaan dapat dihasilkan dalam waktu yang relatif lebih singkat dibandingkan petak ukur permanen. Untuk mengurangi terjadinya bias pendugaan maka pembangunan petak ukur temporer harus mewakili berbagai kualitas tempat tumbuh dan umur tegakan.

Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model pendugaan pertumbuhan dan hasil hutan tanaman *Gmelina arborea* dengan menggunakan petak ukur temporer di Pasir Mandoge Asahan Sumatera Utara.

II. METODOLOGI

A. Lokasi dan Waktu

Pengumpulan data dilakukan pada hutan tanaman *G. arborea* pada kawasan hutan konsesi NV STTC terletak di Pasir Mandoge Kabupaten Asahan Provinsi Sumatera Utara. Kawasan hutan konsesi umumnya memiliki topografi berbukit dengan ketinggian tempat rata-rata 800 m dpl dan rata-rata curah hujan tahunan 3.200 mm. Secara makro jenis tanah

yang digunakan adalah paku-paku merang kuning dan merupakan tanah kering. Jarak tanam awal adalah 2,5 m x 2,5 m. Pembangunan petak ukur dan pengukuran dimensi tegakan dilakukan pada bulan Juni 2003.

B. Bahan Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari hasil pengukuran diameter dan tinggi pohon pada 12 petak ukur temporer pada hutan tanaman jenis *G. arborea* dengan cakupan umur tegakan 5-8 tahun.

C. Pengumpulan Data

Data dikumpulkan dengan jalan membuat tiga buah petak ukur temporer pada setiap tahun tanam. Karena tegakan yang ada hanya pada cakupan umur 5-8 tahun maka petak ukur temporer hanya dapat dibangun pada ketiga kelas umur tersebut. Petak ukur temporer digunakan selain karena efisiensi waktu pelaksanaan penelitian dan keamanan hutan, juga dikarenakan adanya rencana perusahaan untuk segera memanen tegakan yang telah masak tebang.

Petak ukur diletakkan pada tempat-tempat yang dilihat secara makro memiliki kondisi tempat tumbuh yang berbeda serta memiliki mikrotopografi yang kompak dan tegakan yang seragam. Pada masing-masing kelas umur, petak ukur dibangun pada kondisi tapak dengan kualitas baik, sedang, dan kurang dengan jumlah masing-masing satu buah petak ukur sehingga secara keseluruhan terdapat 4 (kelas umur) x 3 (kualitas tapak) x 1 = 12 petak ukur. Petak ukur yang dibangun berbentuk persegi panjang dengan luas 0,1 ha (40 m x 25 m).

Diameter setinggi dada (dbh) dan tinggi total semua pohon yang terdapat di dalam plot diukur dengan menggunakan pita ukur dan *spiegel relascope bieterlich* berturut-turut. Untuk penyusunan model indeks tempat tumbuh petak ukur 0,1 ha dibagi menjadi 10 bagian berukuran 0,05 ha (20 m x 25 m) dan dari masing-masing sub petak tersebut dipilih lima pohon tertinggi sebagai peninggi. Peninggi adalah rata-rata tinggi dari pohon-pohon peninggi petak ukur yang bersangkutan.

D. Analisis Data

1. Pengolahan Data

Volume, luas bidang dasar tegakan, dan jumlah pohon total per petak ukur diperoleh dengan rumus :

$$Y = \sum_{i=1}^n y_i \dots\dots\dots(1)$$

di mana (*were*) : Y = volume, luas bidang dasar tegakan (*basal area*), jumlah pohon total (*number of tree*); n = jumlah pohon dalam tegakan (*number of trees per plot*), y_i = volume, luas bidang dasar pohon ke- i (*volume, basal areal of tree i*).

Volume, luas bidang dasar tegakan, dan jumlah pohon per hektar diperoleh dengan rumus :

$$Y/ha = \frac{Y}{\text{luas petak}} = \frac{Y}{0,1} \dots\dots\dots(2)$$

Diameter setinggi dada (dbh) dan tinggi digunakan untuk menghitung volume pohon berdasarkan persamaan volume umum dengan angka bentuk 0,41. Angka bentuk ini diperoleh dari rata-rata angka bentuk 10 pohon contoh umur 8 tahun di lokasi penelitian. Riap tahun berjalan (*CAI*) dan riap rata-rata tahunan (*MAI*) diameter, tinggi, basal area, dan volume dihitung dengan rumus :

$$CAI = Y_{t+1} - Y_t \dots\dots\dots(3)$$

$$MAI = Y/t \dots\dots\dots(4)$$

di mana (*where*) : Y_t = diameter, tinggi, luas bidang dasar, dan volume tahun ke- t (*diameter, height, basal area and volume at time t*), t = umur tanaman (*age*).

2. Analisis Data

a. Penyusunan Model Indeks Tempat Tumbuh

Model indeks tempat tumbuh didasarkan pada hubungan matematis antara peninggi dan umur tegakan. Model yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan model terdahulu yang telah diuji untuk jenis lain (Puspasari dan Achmad, 2000). Dalam hal ini model yang digunakan adalah :

$$1) \log H = \beta_0 + \beta_1 A^{-1} \text{ (Avery, 1994).....(5)}$$

Jika umur (A) setara dengan umur indeks (A_i), maka peninggi (H) setara dengan SI (*site index*), yakni :

$$\log SI = \beta_0 + \beta_1 A_i^{-1} \text{.....(6)}$$

Substitusi persamaan (2) ke persamaan (1) akan menghasilkan :

$$\begin{aligned} \log H &= \log SI - \beta_1 A_i^{-1} + \beta_1 A^{-1} \\ &= \log SI + \beta_1 (A^{-1} - A_i^{-1}) \end{aligned}$$

Sehingga perhitungan SI akhirnya diperoleh dari rumus :

$$\log SI = \log H - \beta_1 (A^{-1} - A_i^{-1}) \text{.....(7)}$$

$$2) H = \beta_0 + \beta_1 (\ln A)^k \text{ (Alder, 1980).....(8)}$$

Jika umur (A) setara dengan umur indeks (A_i), maka peninggi (H) setara dengan SI, yakni :

$$SI = \beta_0 + \beta_1 (\ln A_i)^k \text{.....(9)}$$

Selanjutnya hubungan antara indeks tempat tumbuh dengan peninggi adalah :

$$SI = (H - \beta_0)(\ln A_i / \ln A)^k + \beta_0 \text{.....(10)}$$

di mana (*where*) : H = peninggi tegakan (*dominant height*), SI = indeks tempat tumbuh (*site index*), A = umur tegakan (*age*), β_0 = intersep (*intercept*), β_1 = koefisien regresi (*coefficient of regression*), dan k = tetapan (*constant*)

Selain kedua model di atas juga dicari model matematis hubungan peninggi dengan umur lainnya dengan bantuan perangkat lunak computer CurveExpert 1.3.

b. Penyusunan Model Pertumbuhan

Model pertumbuhan dan hasil disusun berdasarkan hubungan matematis antara umur, diameter, kerapatan tegakan, basal area, dan volume tegakan. Prediksi masing-masing model ini dilakukan dengan menguji berbagai persamaan dari semua kombinasi variabel bebas yang mungkin.

Persamaan prediksi volume diformulasikan dari metodologi yang dikembangkan oleh Mackinney *et al.* (1937) dan Schumacher (1939), yakni :

$$\ln(V) = \alpha_0 + \alpha_1 S + \alpha_2 A^{-1} + \alpha_3 \ln(B) \text{.....(11)}$$

Model basal area diperoleh dari persamaan yang dikembangkan oleh Schumacher dan Coile (1960), yakni :

$$\ln(B) = \alpha_0 + \alpha_1 S + \alpha_2 A^{-1} + \alpha_3 A^{-1} S \text{.....(12)}$$

Sedangkan model pendugaan diameter setinggi dada (dbh), model rata-rata tinggi tegakan, dan pendugaan jumlah pohon per hektar menggunakan model-model yang pernah digunakan untuk pendugaan pertumbuhan dan hasil hutan *Gmelina arborea* di Bangladesh (Rahman dan Ahmad, 2000) dan tegakan pinus *loblolly* dan *black spruce* di Amerika Serikat (Sullivan dan Clutter, 1972; Parela, 1971).

$$\ln(D) = \beta_0 + \beta_1 A^{-1} + \beta_2 \ln(S) + \beta_3 N \text{.....(13)}$$

$$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \ln(A) + \beta_2 \ln(S) \text{.....(14)}$$

$$\ln(N) = \beta_0 + \beta_2 D + \beta_3 B \text{.....(15)}$$

di mana (*were*) : A = umur tegakan (*age*), S = indeks tempat tumbuh (*site index*), D = dbh, N = jumlah pohon per ha (*number of tree per ha*), α dan β = tetapan (*constant*).

Untuk mengetahui nilai-nilai tersebut dilakukan dengan analisis regresi dengan program MINITAB 14 for Windows. Hubungan antara pertumbuhan diameter, tinggi, luas bidang dasar, dan volume tegakan terhadap umur diolah dengan program CurveExpert 1.3. Model-model penduga yang terbentuk diuji lebih lanjut keterandalannya melalui sidik ragam regresi dan koefisien determinasi.

c. Pemilihan Model Terbaik

Model terbaik dipilih berdasarkan kriteria nilai koefisien determinasi (R^2), nilai simpangan agregat (*Aggregate of Difference - AgD*), dan nilai simpangan rata-rata (*Average of Percentace Deviation - AvR*).

$$AgD = \frac{\sum Ha - \sum Ht}{\sum Ht} * 100 \% \text{.....(16)}$$

$$AvR = \frac{\sum |Ha - Ht|}{N} * 100 \% \text{.....(17)}$$

di mana (*where*) : Ha = nilai aktual hasil pengukuran lapang (*actual value from field mensuration*), Ht = nilai dugaan dari model (*prediction value from model*), N = Jumlah contoh (*number of sample*).

Model yang terbaik adalah model yang memiliki nilai R^2 cukup tinggi, serta nilai

simpangan agregat yang lebih kecil dari 1 dan lebih besar dari -1, serta nilai simpangan rata-rata yang lebih kecil dari 1 % (Spurr, 1952).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sebaran Data

Sebaran data rata-rata peninggi, diameter, tinggi, dan volume masing-masing petak ukur temporer serta model terbaik hubungan antara masing-masing parameter tegakan terhadap umur dapat dilihat pada Gambar 1.

Dari Gambar 1 terlihat bahwa hubungan antara rata-rata diameter tegakan, tinggi, dan luas bidang dasar terhadap umur tegakan cenderung eksponensial dengan model seperti yang terdapat pada gambar, sedangkan hubungan antara volume tegakan dengan umur cenderung logistik.

B. Model Perkembangan Peninggi

Dengan menggunakan analisis regresi pada program Minitab 11 for Windows dan CurveExpert 1.3 diperoleh model perkembangan peninggi beserta sidik ragam regresinya sebagai berikut :

1. $\log H = \beta_0 + \beta_1 A^{-1}$ (Avery, 1994)
 $\log H = 1,37 - 0,583 A^{-1}$ (18)
2. $H = b_0 + b_1 (\ln A)^k$ (Alder, 1980)
 $H = -0,65 + 12,0 (\ln A)^{0,8}$ (19)
3. $H = a (1 - e^{-bA})$
 $H = 24,514(1 - e^{-0,237A})$ (20)

Model penduga indeks tempat tumbuh terbaik dipilih berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2), simpangan agregat, dan simpangan rata-rata. Besarnya nilai untuk masing-masing kriteria tersebut untuk model-model yang diujikan dapat disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa ketiga model di atas memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai penduga indeks tempat tumbuh. Menurut Spurr (1952), suatu model dapat diandalkan apabila memiliki nilai simpangan agregat lebih besar dari -1 dan lebih kecil dari 1 serta simpangan rata-rata lebih kecil dari 8 %. Ketiga model memenuhi persyaratan tersebut karena memiliki nilai simpangan rata-rata yang lebih kecil dari 8 dan nilai simpangan agregat yang lebih kecil dari 1. Akan tetapi model ketiga yakni $H = 24,514(1 - e^{-0,237A})$ memiliki kelebihan dalam menerangkan hubungan antara A (umur) dengan H (peninggi) karena memiliki nilai koefisien korelasi yang lebih tinggi. Model indeks tempat tumbuh yang relatif sama juga digunakan oleh Rahman dan Ahmad (2000) dalam perhitungan indeks tempat tumbuh jenis yang sama di Bangladesh.

Jika umur (A) setara dengan umur indeks (A_i), maka peninggi (H) setara dengan SI (site index), yakni :

$$H = a (1 - e^{-A}) \dots \dots \dots (21)$$

$$SI = a (1 - e^{-cA_i}) \dots \dots \dots (22)$$

Substitusi persamaan (21) ke persamaan (22) akan menghasilkan :

$$H = SI * (1 - e^{-bA}) / (1 - e^{-bA_i}) \dots \dots \dots (23)$$

Sehingga perhitungan SI akhirnya diperoleh dari rumus :

$$SI = H * \{(1 - e^{-cA_i}) / (1 - e^{-cA})\} \dots \dots \dots (24)$$

Jika umur indeks yang digunakan adalah 8 tahun, maka persamaan indeks tempat tumbuh yang terbentuk akan menjadi :

$$SI = H * \{(1 - e^{-0,237*8}) / (1 - e^{-0,237*A})\} \dots \dots \dots (25)$$

di mana (*where*) : SI : indeks tempat tumbuh (site index), H : peninggi (dominant height), dan A : umur tegakan (age).

Tabel (Table) 1. Koefisien korelasi, simpangan agregat, dan simpangan rata-rata model yang diujikan (Coefficient of correlation, AgD, and AvD of the predicted models)

No	Model (models)	r	SA (AgD)	SR (AvD)
1	$\log H = 1,37 - 0,583 A^{-1}$	0,586	0,65	6,52
2	$H = -0,65 + 12,0 (\ln A)^{0,81}$	0,753	0,32	5,74
3	$H = 24,514(1 - e^{-0,237A})$	0,956	0,04	5,72

Gambar (Figure) 1. Sebaran data rata-rata parameter pertumbuhan tegakan. (a) Peninggi, (b) Diameter, (c) Tinggi, (d) Jumlah pohon per ha, (e) Luas bidang dasar, dan (f) Volume (*Distribution of mean of stand growth parameter. (a) Dominant height, (b) dbh, (c) height, (d) Number of trees per ha, (e) Basal area, and (f) Stand volume*)

Hasil pendugaan menunjukkan bahwa indeks tempat tumbuh dari petak-petak ukur di lokasi penelitian memiliki variasi antara 18,5-23,0 Oleh karena itu, grafik indeks tempat tumbuh *G. arborea* disusun dengan besar indeks tempat tumbuh mulai dari 18,5 hingga 23,0 dengan selang 1,5 meter. Secara rinci perkembangan peninggi tegakan pada setiap batas indeks tempat tumbuh disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan klasifikasi kelas kualitas lahan, lokasi penelitian digolongkan atas tiga kelas indeks tempat tumbuh, yakni SI 18,54-20,03 dengan nilai tengah SI 19, SI 20,04-21,51 dengan nilai tengah SI 21, dan SI 21,52-23,00 dengan nilai tengah SI 23. Perbedaan kualitas tempat tumbuh ini mencerminkan perbedaan respon tanaman terhadap suatu tapak sehingga akan mengakibatkan perbedaan pertumbuhan. Konsekuensi perbedaan kualitas tempat tumbuh ini akan mengakibatkan berbedanya teknik silvikultur yang diterapkan pada suatu kualitas lahan tertentu. Lahan dengan indeks tempat tumbuh yang lebih tinggi akan memiliki

potensi pertumbuhan yang lebih tinggi dibanding lahan dengan indeks tempat tumbuh yang lebih rendah. Berdasarkan hal ini maka untuk memicu pertumbuhan maka pada indeks tempat tumbuh yang lebih tinggi jarak antar tanaman dibuat lebih lebar. Sebaliknya pada indeks tempat tumbuh yang lebih rendah di mana potensi pertumbuhan lebih kecil maka jarak tanamnya tak perlu diperlebar.

C. Pertumbuhan Tegakan

Rata-rata pertumbuhan diameter, tinggi, luas bidang dasar, dan volume tegakan dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 3.

Tabel 3 menunjukkan bahwa rata-rata hasil volume pada umur tegakan 8 tahun mencapai $178,74 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ dengan riap rata-rata tahunan (MAI) sebesar $22,34 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$. Sedangkan rata-rata riap tahunan berjalan tertinggi terdapat pada umur 6 tahun sebesar $29,82 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$.

Pertumbuhan *G. arborea* pada berbagai indeks tempat tumbuh di Simalungun dapat disajikan pada Tabel 4.

Tabel (Table) 2. Perkembangan peninggi *G. arborea* pada berbagai kelas indeks tempat tumbuh (*G. arborea upperheight development on various site indices classes*)

Umur (Ages)	Peninggi (Dominant height) (m)		
	SI 19	SI 21	SI 23
5	13,15-13,74	13,75-14,32	14,33-14,92
6	15,10-16,09	16,10-17,08	17,09-18,07
7	17,72-18,99	19,00-19,63	19,64-20,91
8	18,54-20,03	20,04-21,51	21,51-23,00

Gambar (Figure) 2. Grafik indeks tempat tumbuh *G. arborea* di Sumatera Utara (*Site class curve of G. arborea at North Sumatra*)

Tabel (Table) 3. Rata-rata pertumbuhan tegakan *G. arborea* di Simalungun Sumatera Utara (Mean of stand growth for *G. arborea* at North Sumatra)

Pertumbuhan tegakan (Growth of stand)	Umur (Age)			
	5	6	7	8
Diameter	16,12	18,20	21,69	23,70
CAI		2,08	3,49	2,01
MAI	3,22	3,03	3,10	2,96
Tinggi (Height)	11,40	13,81	14,95	16,85
CAI		2,41	1,14	1,90
MAI	2,28	2,30	2,14	2,11
Luas bidang dasar (Basal area)	16,98	20,96	23,59	26,53
CAI		3,99	2,63	2,94
MAI	3,40	3,49	3,37	3,32
Volume	103,26	133,07	150,89	178,74
CAI		29,82	17,82	27,85
MAI	20,65	22,18	21,56	22,34
Jumlah pohon (Number trees/ha)	692	673	576	510

Tabel (Table) 4. Pertumbuhan dan hasil *G. arborea* di Simalungun pada berbagai indeks tempat tumbuh (Growth and yield of *G. arborea* at Simalungun for different site indice)

Diameter (cm)			Tinggi (Height) (m)			Luas bidang dasar (Basal area) (m ² /ha)			Volume (m ³ /ha)		
SI 19	SI 21	SI 23	SI 19	SI 21	SI 23	SI 19	SI 21	SI 23	SI 19	SI 21	SI 23
13,69	13,18	12,72	11,14	10,18	9,30	1,79	1,72	1,66	10,76	10,86	10,98
17,09	16,45	15,88	14,67	13,42	12,26	2,32	2,25	2,18	13,31	13,44	13,58
21,14	20,36	19,65	16,57	15,16	13,86	2,57	2,50	2,42	15,37	15,52	15,68
24,70	23,78	22,96	18,47	16,91	15,46	2,82	2,74	2,67	17,56	17,74	17,92

Hasil volume tertinggi pada umur 8 tahun terdapat pada SI 23 sebesar 179,2 m³ per ha, diikuti SI 21 sebesar 177,4 m³, dan SI 19 dengan hasil 175,6 m³ per ha. Rahman dan Ahmad (2000), melaporkan bahwa hasil volume tegakan *Gmelina* pada umur 8 tahun di Bangladesh bervariasi tergantung indeks tempat tumbuh yakni 66,117 m³/ha (SI 9), 110,420 m³/ha (SI 15), dan 184,411 m³/ha (SI 21).

D. Model Pertumbuhan dan Hasil

Berdasarkan analisis regresi diperoleh model prediksi hasil sebagai berikut :

1. Model penduga diameter tegakan

$$\ln D = 5,84 - 6,27 A^{-1} - 0,511 \ln S - 0,00066 N \dots \dots \dots (26)$$
2. Model rata-rata tinggi tegakan

$$\ln H = -4,09 + 4,07 \ln A - 1,46 \ln B + 1,15 \ln N - 1,30 \ln S \dots \dots \dots (27)$$

3. Model penduga jumlah pohon per hektar

$$\ln N = 8,80 + 0,227 \ln B - 0,817 \ln D - 0,227 \ln S \dots \dots \dots (28)$$
4. Model basal area tegakan

$$\ln B = 5,26 - 0,0281 S - 8,05 A^{-1} - 0,151 S/A \dots \dots \dots (29)$$
5. Model hasil volume

$$\ln V = 2,02 + 0,0407 S + 0,65 A^{-1} + 0,682 \ln B \dots \dots \dots (30)$$

Ketelitian statistik persamaan-persamaan di atas dapat disajikan pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5 terlihat bahwa semua model di atas dapat diandalkan untuk memprediksi pertumbuhan dan hasil.

Pada Tabel 5 terlihat bahwa model-model di atas dapat digunakan untuk menduga pertumbuhan tegakan karena memiliki simpangan agregat yang lebih kecil dari satu persen serta koefisien determinasi yang lebih

Table (tabel) 3. Retensi statistik persamaan pendugaan pertumbuhan dan hasil (Statistical expression of the precision of growth and yield prediction equations)

Model prediksi (Prediction model)	R ² (%)	s	RMS error	F-value	AgD	t
Diameter	89,3	0,0638	0,00407	22,19	0,85	1,34
Tinggi (Height)	90,3	0,0680	0,00462	16,37	0,57	0,62
Jumlah pohon (Number of trees)	76,9	0,0870	0,00758	8,87	0,22	0,29
Luas bidang dasar (Basal area)	86,4	0,0836	0,00700	16,97	0,49	0,18
Volume	93,6	0,0654	0,00428	38,85	0,34	0,33

$$t_{\text{tabel}(0,05,11)} = 2,201$$

(a)

(b)

(c)

(d)

Gambar (Figure) 3. Pertumbuhan tegakan *G. arborea* pada berbagai site index. (a) Pertumbuhan diameter; (b) Pertumbuhan tinggi; (c) Perkembangan luas bidang dasar; (d) Riap tahunan berjalan dan riap rata-rata tahunan (Growth of *G. arborea* stand at several site indice in Pasir Mandoge. (a) Growth of diameter; (b) Growth of stand height; (c) Basal area development; (d) CAI and MAI)

besar dari 75 %. Hasil perhitungan nilai t ($t_{\text{hitung}} < t_{\text{tabel}}$) juga menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai tegakan aktual dengan nilai prediksi.

Gambar 3 menunjukkan laju pertumbuhan diameter, tinggi, dan basal areal

tegakan pada berbagai indeks tempat tumbuh. Kurva pertumbuhan tinggi, diameter, dan basal area tegakan dan volume tegakan cenderung berbentuk sigmoid. Hasil ini mendukung prinsip biologi perkembangan tegakan. Besarnya pertumbuhan diameter,

basal area, dan pertumbuhan tinggi tegakan ini sangat dipengaruhi oleh kualitas tempat tumbuh, kerapatan, dan umur tegakan. Secara jelas hubungan ini dapat dilihat pada masing-masing persamaan model yang telah dibangun yang dapat dilihat pada Gambar 3.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Petak ukur temporer dapat digunakan untuk menyusun model pertumbuhan dan hasil dengan hasil yang cukup akurat. Namun dalam pembangunannya harus memperhatikan keterwakilan, kondisi pertumbuhan, dan tempat tumbuh.
2. Model penduga terbaik untuk menerangkan hubungan antara umur dengan peninggi tegakan adalah model $SI = H * \{(1 - e^{-0.237 * 8}) / (1 - e^{-0.237 * A})\}$.
3. Hasil penaksiran menunjukkan bahwa indek tempat tumbuh petak-petak ukur mempunyai variasi antara 18,5-23,0.
4. Rata-rata hasil volume pada umur tegakan 8 tahun mencapai $178,74 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ dengan MAI sebesar $22,34 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$. Sedangkan CAI tertinggi terdapat pada umur 6 tahun sebesar $29,82 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$.
5. Persamaan-persamaan model prediksi pertumbuhan dan hasil yang diperoleh:
 - Model diameter :
 $\ln D = 5,84 - 6,27 A^{-1} - 0,511 \ln S - 0,00066 N$
 - Model tinggi :
 $\ln H = -4,09 + 4,07 \ln A - 1,46 \ln B + 1,15 \ln N - 1,30 \ln S$
 - Model jumlah pohon :
 $\ln N = 8,80 + 0,227 \ln B - 0,817 \ln D - 0,227 \ln S$
 - Model basal area tegakan :
 $\ln B = 5,26 - 0,0281 S - 8,05 A^{-1} - 0,151 S/A$
 - Model volume :
 $\ln V = 2,02 + 0,0407 S + 0,65 A^{-1} + 0,682 \ln B$
6. Kurva hubungan antara hasil prediksi pertumbuhan tegakan terhadap umur cenderung berbentuk sigmoid. Hal ini

sesuai dengan prinsip biologi perkembangan tegakan.

B. Saran

1. Penyusunan model pendugaan pertumbuhan dan hasil tegakan serta kualitas tempat tumbuh sebaiknya diperoleh dari tegakan hutan yang memiliki sebaran umur tegakan yang lengkap dan pada berbagai lokasi dan kondisi makrofisiografi yang sangat berbeda sehingga dapat diperoleh suatu model penduga yang komprehensif.
2. Perlunya penelitian terhadap jenis yang sama di lokasi lain dengan memperhatikan faktor-faktor lingkungan sehingga dihasilkan model penduga kualitas tempat tumbuh yang komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Alder, D. 1980. Forest volume estimation and yield prediction. Volume 2. Yield Prediction. FAO. Rome.
- Avery, T. and H.E. Burkhart. 1994. Forest mensuration. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.
- Mackinney, A.L., F.X. Schumacher and L.E. Chaiken. 1937. Construction of yield tables for nonnormal loblolly pine stands. Journal of Agricultural Research 54:531-545.
- Parella, D.A. 1971. Growth and yield of black spruce on organic soil in Minnesota. USDA Forest Service Research Paper 56. Washington.
- Prodan, M. 1968. Forest biometric. Pergamon Press. Oxford.
- Puspasari, D. dan B. Achmad. 2000. Model penaksiran tempat tumbuh hutan tanaman *Acacia mangium*. Buletin Penelitian Kehutanan 16 (1).
- Rahman, M. M and I. U. Ahmad. 2000. Growth and yield model of gamar (*Gmelina arborea*). Journal of Tropical Forest Science 12(2):276-286.
- Schumacher, F. X. 1939. A new growth curve and its application to timber yield studies. Journal of Forestry 37:819-820.

- Schumacher, F.X. and T.S. Coile. 1960. Growth and yield of natural stands of the Southern Pines. T.S. Coile, Inc. Durham.
- Simon, H. 1996. Metode inventore hutan. Aditya Media. Yogyakarta.
- Spurr, S.H. 1952. Forest inventory. The Ronald Press Company. New York.
- Sullivan, A.D and J.L. Clutter. 1972. A simultaneous growth and yield model for loblolly pine. Forest Science 18: 76-86.
- Vanclay, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield : Application to Mixed Tropical Forest. CAB International. Wallingford, U.K.

Lampiran (Appendix) 1. Berbagai kombinasi model terbaik untuk penduga pertumbuhan dan hasil *G. arborea* di Simalungun Sumatera Utara (*The best different combination models for predicting growth and yield of G. arborea at Simalungun North Sumatra*)

Model prediksi (<i>Prediction models</i>)	R^2	s	MSE	Fvalue
Model diameter				
$\ln D = 5,84 - 6,27 A^{-1} - 0,511 \ln S - 0,0006 N$	89,3	0,0638	0,00407	22,19
$\ln D = 5,89 - 2,51 A^{-1} + 0,124 \ln B - 0,450 \ln N$	86,5	0,0716	0,00513	17,08
$\ln D = 4,93 + 0,321 \ln A + 0,178 \ln B - 0,481 \ln N$	85,6	0,0739	0,00546	15,89
$\ln D = 3,01 + 1,86 \ln A - 0,390 \ln B - 0,798 \ln S$	87,2	0,0697	0,00485	18,20
Model rata-rata tinggi				
$\ln H = 0,137 + 0,764 \ln D + 0,072 \ln B$	62,5	0,1182	0,01398	7,49
$\ln H = 0,987 + 0,680 \ln A + 0,138 \ln S$	70,6	0,1047	0,01096	10,79
$\ln H = 1,39 + 0,165 \ln D - 0,346 \ln B + 0,985 \ln A$	74,5	0,1034	0,01070	7,77
$\ln H = 0,987 + 0,680 \ln A + 0,138 \ln S$	70,6	0,1047	0,01096	10,79
$\ln H = 2,10 + 1,44 \ln A - 0,250 \ln S - 0,460 \ln B$	74,6	0,1032	0,01066	7,82
$\ln H = -0,77 + 0,879 \ln A + 0,236 \ln N + 0,095 \ln S$	72,0	0,1083	0,01172	6,86
$\ln H = -4,09 + 4,07 \ln A - 1,46 \ln B + 1,15 \ln N - 1,30 \ln S$	90,3	0,0680	0,00462	16,37
Model luas bidang dasar tegakan				
$\ln B = 0,870 - 0,0494 S + 1,66 \ln A$	85,4	0,0818	0,00668	26,37
$\ln B = 2,41 - 0,842 \ln S + 1,65 \ln A$	84,7	0,0838	0,00702	24,89
$\ln B = 5,26 - 0,0281 S - 8,05 A^{-1} - 0,151 S/A$	86,4	0,0837	0,00700	16,97
Model jumlah pohon per hektar				
$\ln N = 6,93 - 0,0208 D - 0,046 B$	32,7	0,1400	0,01961	2,19
$\ln N = 9,10 + 0,171 \ln B - 0,944 \ln D$	74,3	0,0865	0,00748	13,02
$\ln N = 8,80 + 0,227 \ln B - 0,817 \ln D - 0,227 \ln S$	76,9	0,0870	0,00758	8,87
Model volume tegakan				
$\ln V = 2,02 + 0,0407 SI + 0,65 A^{-1} + 0,682 \ln B$	93,1	0,0676	0,00457	36,25
$\ln V = 1,08 - 0,073 \ln A + 0,691 \ln S + 0,654 \ln B$	93,0	0,0682	0,00465	35,39